

## ВЛИЯНИЕ ДИАМЕТРА ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ НА МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ АНИЗОТРОПНОЙ СТАЛИ

*Пузанов М.П., магистрант кафедры «Обработка металлов давлением»*

*Шилов В.А., д.т.н., профессор кафедры «Обработка металлов давлением» (omd@mtf.ustu.ru)*

*Михайленко А.М., к.т.н., доцент кафедры «Обработка металлов давлением»*

**Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина**

(620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19)

**Аннотация.** Проведен промышленный эксперимент по влиянию диаметра рабочих валков стана холодной прокатки на магнитные свойства электротехнической анизотропной стали (ЭАС). Сформированы две статистические выборки, содержащие значения магнитной индукции ЭАС, прокатанной на валках диаметром 70 и 290 мм. В результате установлено, что влияние диаметра прокатных валков на магнитную индукцию ЭАС является статистически незначимым, но вероятным.

**Ключевые слова:** электротехническая анизотропная сталь, текстура Госса, магнитная индукция, холодная прокатка, диаметр рабочих валков.

Основным материалом, служащим для изготовления магнитопроводов электротехнических устройств, является холоднокатаная электротехническая анизотропная сталь (ЭАС), содержащая 3 – 4 % кремния и обладающая текстурой Госса  $\{110\}\langle 001\rangle$ , которая определяет электромагнитные свойства ЭАС: магнитную индукцию  $B$  и удельные магнитные потери  $P$  [1, 2].

Получение текстуры Госса в ЭАС обеспечивается специальной технологией ее производства, в которой одной из главных операций является холодная прокатка. На сегодняшний день изучению влияния прокатных факторов на текстурообразование и магнитные свойства ЭАС уделено недостаточное внимание. Однако уже сейчас известно, что холодная прокатка формирует зародыши текстуры Госса в полосах сдвига [3], что позволяет предполагать существование связи между факторами холодной прокатки и текстурообразованием. В связи с этим, в настоящей работе поставлена цель выполнить анализ влияния на магнитные свойства ЭАС одного из основных параметров холодной прокатки – диаметра рабочих валков  $D_p$ . Для этого исследовали процесс холодной прокатки ЭАС по действующей на Верх-Исетском металлургическом заводе технологии по двум вариантам, различающимся только диаметрами рабочих валков на второй стадии прокатки: в первом варианте использовали 20-ти валковый стан 1200,

$D_p = 70$  мм, во втором – стан кварто 1400,  $D_p = 290$  мм. В обоих вариантах подкат толщиной 0,70 мм прокатывали за три прохода на полосу толщиной 0,30 мм с суммарным относительным обжатием 57,1 % при практически одинаковом распределении обжатий по проходам и скоростном режиме. Условия трения на контактной поверхности в обоих вариантах за счет подбора смазок были практически одинаковыми, коэффициент трения  $\mu$  изменялся в пределах от 0,07 до 0,09. Технологические параметры на всех остальных переделах не изменялись. Таким образом, в промышленном эксперименте варьировали только один параметр – диаметр валков.

По каждому из вариантов экспериментальной технологии было обработано по 60 рулонов ЭАС. От каждого рулона отбирали образцы для определения на аппарате Эпштейна магнитной индукции при напряженности магнитного поля 800 А/м –  $B_{800}$ , Тл. Таким образом, были сформированы две статистические выборки  $B_{800} = f(D_p)$  объемом 60 точек каждая. Полученные статистические выборки анализировали методами математической статистики с помощью программного комплекса Microsoft Excel. Основные результаты такого анализа представлены в таблице.

Как видно из таблицы, статистические характеристики обеих выборок получились достаточно близкими между собой. Для уровня значимости  $\alpha = 0,05$  и числа

### Результаты статистического анализа

Вариант второй прокатки	Диаметр рабочих валков, $D_p$ , мм	Точечные оценки $B_{800}$		
		математическое ожидание $B_{800}$ , Тл	дисперсия $\sigma^2$ , Тл <sup>2</sup>	стандартное отклонение $\sigma$ , Тл
1	70	1,872	$3,19 \cdot 10^{-5}$	0,0057
2	290	1,870	$3,69 \cdot 10^{-5}$	0,0061

степеней свободы  $\nu = 60 + 60 - 2 = 118$  квантиль распределения Стьюдента  $t_{0,05,118} = 1,981$ , а значение статистики Стьюдента составило  $t = 1,868$ , т.е.  $t_{0,05,118} > t$ , что свидетельствует об отсутствии статистически значимого различия между магнитными свойствами двух опытных партий ЭАС. Таким образом, влияние диаметра валков на магнитные свойства ЭАС можно считать незначимым. Однако, поскольку в условиях промышленного эксперимента невозможно полностью исключить влияние посторонних факторов, то для выявления предполагаемого существования связей между магнитными свойствами ЭАС и диаметром валков необходимо провести физические эксперименты по исследованию текстуры, что предполагается выполнить в ближайшем будущем.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лобанов М.Л., Русаков Г.М., Редикульцев А.А. Электротехническая анизотропная сталь. Ч. I. История развития. // Металловедение и термическая обработка металлов. 2011. № 7. С. 67 – 68.
2. ГОСТ Р 53934-2010. Прокат тонколистовой холоднокатаный из электротехнической анизотропной стали. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2011.
3. Русаков Г.М., Редикульцев А.А., Каган И.В., Лобанов М.Л. Механизм образования полос сдвига при холодной деформации технического сплава Fe–3% Si. // Физика металлов и металлургия. 2010. Т. 109. № 6. С. 701 – 707.

© 2014 г. Пузанов М.П., Шилов В.А., Михайленко А.М.

Поступила 30 июля 2014 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA – FERROUS METALLURGY. 2014. No. 9. Vol. 57, pp. 63–64.

### THE INFLUENCE OF ROLLS' DIAMETER ON MAGNETIC PROPERTIES OF GRAIN-ORIENTED ELECTRICAL STEEL

*Puzanov M.P., Master student*

*Shilov V.A., Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Chair "Metal Forming" (omd@mtf.ustu.ru)*

*Mikhailenko A.M., Cand. Sci. (Eng.), assist. Professor of the Chair "Metal Forming"*

Ural Federal University named after the first President of Russia  
B. N. Yeltsin (19, Mira str., Ekaterinburg, 620002, Russia)

**Abstract.** A full-scale experiment was carried out to determine the influence of a cold mill rolls' diameter on the texture and magnetic properties of grain-oriented electrical steel (GOES). The results were arranged into two statistical samplings containing magnetic induction value of GOES rolled on the 70 and 290 mm diameter rolls. It was found out that the influence of the rolls' diameter on the magnetic induction of the GOES is statistically insignificant, but probable.

**Keywords:** grain-oriented electrical steel, Goss texture, magnetic induction, cold rolling, rolls' diameter.

#### REFERENCES

1. Lobanov M.L., Rusakov G.M., Redikul'tsev A.A. Electrotechnical anisotropic steel. Part 1. History of development. *Metal Science and Heat Treatment*. 2011, no. 7–8 (53), pp. 326–332.
2. GOST R 53934-2010. *Prokat tonkolistovoi kholodnokatanoy iz elektrotekhnicheskoi anizotropnoi stali. Tekhnicheskie usloviya* [Cold-rolled sheet of grain-oriented electrical steel. Specifications]. Moscow: Standartinform. 2011. (In Russ.).
3. Rusakov G.M., Redikul'tsev A.A., Kagan I.V., Lobanov M.L. Mechanism of formation of shear bands upon cold deformation of a commercial Fe–3% Si alloy. *Physics of Metals and Metallography*. 2010, no. 6(109), pp. 662–669.

Received July 30, 2014

УДК 621.73

### УЧЕТ ДЕФОРМАЦИОННОГО РАЗОГРЕВА ПРИ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКЕ ТРУБ

*Орлов Г.А., д.т.н., доцент, профессор кафедры «Обработка металлов давлением» (gorl@mail.ru)*

*Орлов А.Г., студент*

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина  
(620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19)

**Аннотация.** Представлена методика количественной оценки температурного разогрева при холодной прокатке труб с заданной производительностью. Предложена формула для расчета деформационного разогрева, полученная из закона сохранения энергии при пластической деформации. Приведен пример использования предложенных формул для оценки снижения усилий прокатки по определенному маршруту. Показана возможность интенсификации процесса прокатки за счет температурного разогрева.

**Ключевые слова:** холодная прокатка труб, деформационный разогрев, усилия прокатки.

Повышение температуры или разогрев металла во время пластической деформации  $\Delta t_p$  может достигать, в зависимости от условий процесса и свойств

металла, нескольких сотен градусов. Известен ряд инженерных формул для его расчета [1]. Более точная формула для расчета разогрева может быть получена